

Reliability and clinical application of multi-segment foot models in patients after foot and ankle trauma

Citation for published version (APA):

van Hove, S. (2018). *Reliability and clinical application of multi-segment foot models in patients after foot and ankle trauma*. [Doctoral Thesis, Maastricht University]. Datawyse / Universitaire Pers Maastricht. <https://doi.org/10.26481/dis.20180329sh>

Document status and date:

Published: 01/01/2018

DOI:

[10.26481/dis.20180329sh](https://doi.org/10.26481/dis.20180329sh)

Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.umlib.nl/taverne-license

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

repository@maastrichtuniversity.nl

providing details and we will investigate your claim.

Download date: 05 May. 2023

Summary

This thesis describes the reliability and clinical applicability of the four-segment Oxford foot model (OFM) in patients after foot and ankle trauma. In **chapter 1**, the general introduction, the use of multi-segment foot models (MSFM) in the current literature is reviewed. To date, more than 20 models have been developed and are used in reliability studies and for clinical application. Only 6 studies were found to report on foot and ankle kinematics after foot and ankle trauma. Four studies reported on kinematics after ankle sprain and two studies reported on foot and ankle kinematics after fractures. One study was performed in patients after calcaneal bone fractures and one study report on patients after ankle fractures. They all found altered foot and ankle kinematics in patients after fractures compared with healthy subjects. MSFMs are a promising new diagnostic tool. However, regarding the diagnostic research questions formulated by Knottnerus et al. only the first question was answered and therefore, the level of evidence for MSFM is low (phase 1). More data is needed regarding costs and clinical outcome improvement in patients.

The thesis was further divided in two parts. **Part 1** consists of three chapters describing the reliability of the OFM in healthy subjects and the influence of different factors as speed and age on foot and ankle kinematics. **Part 2** consist of four chapters describing foot and ankle kinematics in patients after foot and ankle fractures compared to healthy subjects and correlated with patient-reported outcome measures (PROM) and post-operative radiographic findings.

PART 1: RELIABILITY OF THE OXFORD FOOT MODEL

In **chapter 3**, the repeatability of the OFM was tested in nine healthy subjects. Subjects were tested by two observers (inter-observer) and on different days (intra-observer). Results were presented with intraclass correlation coefficients (ICC) and standard error of measurement. We found for inter-observer repeatability good and excellent ICCs for almost all parameters and only two parameters with moderate agreement and one with fair agreement. The standard error varied from 0.85° to 4.40°. The intra-observer repeatability showed good and excellent ICC's for almost all parameters and only two parameters with moderate agreement. The standard error varied from 1.15° to 5.49°. These results were comparable with previous reliability studies, using the OFM.

In **chapter 4**, the effect of speed and age on foot and ankle kinematics, using the OFM, was described. Twenty-one healthy subjects, aged 20-65 years were analysed. We found significant influence of speed on foot and ankle kinematics, with increasing speed leading to higher range of motion (ROM). The main influence of speed was found in the

ankle. For the effect of age 21 subjects were divided in two groups with 13 (17 feet) younger adults (20-24 years) and 8 (14 feet) older adults (53-65 years). We found no significant difference on foot and ankle kinematics between both groups. Neither was there an interaction between speed and age.

Chapter 5 focussed on kinematics in the injured and the uninjured (contralateral) leg in patients after foot and ankle trauma. In eight patients after Lisfranc injury both the injured foot and the contralateral foot were analysed and compared with twelve healthy subjects. We found significantly higher flexion/extension ROM between hind-foot and forefoot during push-off phase in the uninjured leg compared with the injured leg (20.03° vs 11.91° , $p=0.004$). In addition, the contralateral leg showed more ROM during push-off compared to healthy subjects (20.03° vs 15.76° , $p=0.035$). Indicating a compensatory mechanism in the uninjured leg. This compensatory ROM was significantly correlated with PROM.

PART 2: CLINICAL APPLICATION OF THE OXFORD FOOT MODEL

For the clinical studies, patients with several foot and ankle fractures were analysed (pilon fractures to analyse the ankle, calcaneal fractures to analyse the hindfoot and Lisfranc injury to analyse the forefoot). For every patient one step was evaluated from heel strike to toe-off and each step was divided in two parts, a loading phase and a push-off phase. Motions between these segments were analysed in three planes sagittal, frontal and transverse plane representing respectively flexion/extension, abduction/adduction and inversion/eversion.

In **chapter 6**, foot and ankle kinematics in nine patients after pilon fractures were compared with 11 healthy subjects. Patients after pilon fracture had lower speed ($p<0.001$) compared to healthy subjects. Flexion/extension ROM between hindfoot and tibia was significantly decreased during push-off phase in the pilon group ($p=0.011$). Furthermore, inversion/eversion during push-off phase was decreased ($p=0.020$). Contrary, abduction/adduction ROM was increased ($p=0.006$). Significant correlations were found between flexion/extension ROM during push-off phase and PROM as defined by FADI ($r=0.470$, $p=0.009$) and AOFAS ankle-hindfoot score ($r=0.374$, $p=0.042$). In addition, we found a significant correlation between abduction/adduction during loading phase and push-off phase and gap in the talocrural joint on computed tomography scans (resp. $r=0.721$, $p=0.044$ and $r=0.750$, $p=0.032$).

In **chapter 7**, thirteen patients after displaced intra-articular calcaneal fractures were analysed and results were compared with 17 healthy subjects and 8 patients after subtalar arthrodesis. Patients after calcaneal fractures had lower walking speed ($p=0.004$) compared to healthy subjects. When corrected for speed patients after calcaneal fractures showed significantly lower flexion/extension ROM and lower inversion/eversion ROM during loading phase and push-off phase compared to healthy sub-

jects. In contrast, significantly more abduction/adduction ROM between hindfoot and tibia was found for patients after calcaneal fracture during the push-off phase compared to healthy subjects ($p=0.042$). Patients with a subtalar arthrodesis had virtually zero inversion/eversion in the subtalar joint. The inversion/eversion ROM was significantly correlated with PROM defined by the FADI ($r=0.51$, $p<0.001$), the SF-36 physical component score ($r=0.52$, $p<0.001$) and radiographic step-off in posterior facet of the subtalar joint on post-operative computed tomography scans ($r=-0.74$, $p=0.004$).

In **chapter 8**, nineteen patients after Lisfranc injury were compared with 21 healthy subjects. Five patients were treated conservatively, 8 patients underwent operatively open reposition and internal fixation with plate and screw osteosynthesis and 6 patients underwent an arthrodesis. We found lower walking speed in patients after Lisfranc injury ($p<0.001$) compared with healthy subjects. When corrected for speed patients had lower flexion/extension ROM between forefoot and hindfoot during push-off phase ($p<0.001$). Also, between hindfoot and tibia patients after Lisfranc injury showed lower flexion/extension ROM during push-off phase ($p=0.040$), however they showed more abduction/adduction ROM between hindfoot and tibia during push-off phase ($p=0.001$). There was a significant correlation between flexion/extension ROM during push-off phase with PROM defined by the AOFAS midfoot score ($r=0.56$, $p=0.01$) and the SF-36-physical impairment score ($r=0.60$, $p=0.007$). There were no significant correlations found between radiographic findings for quality of reduction and kinematic parameters.

In **chapter 9**, vertical ground reaction forces in 13 patients after calcaneal fractures were compared with 11 healthy subjects. Patients after calcaneal surgery showed a lower minimum force during midstance ($p=0.004$) and a lower maximum force during toe-off ($p=0.011$). The maximum force during toe-off was significantly correlated with flexion/extension ROM during push-off phase ($r=0.523$, $p=0.002$), PROM as defined by the FADI ($r=0.443$, $p=0.010$), AOFAS ankle-hindfoot score ($r=0.436$, $p=0.011$) and post-operative residual step-off on computed tomography scans ($r=0.423$, $p=0.016$). An abnormal vertical ground reaction pattern was able to find all patients after calcaneal fractures with abnormal gait, area under the curve (AUC) 0.93 (95%CI 0.84-1.00), with a 100% sensitivity, while 43% of subjects were seen as false positive.

Samenvatting

Dit proefschrift richt zich op de betrouwbaarheid en klinische toepassingen van de loopgang-analyse bij patiënten met voet en enkel trauma, gemeten met het vier-segmenten Oxford foot model (OFM). In **hoofdstuk 1**, de algemene introductie, is een samenvatting gegeven van het gebruik van multi-segmentele voetmodellen (MSVM) in de huidige literatuur. Tegenwoordig zijn meer dan 20 voetmodellen beschikbaar om de loopgang te analyseren en deze worden gebruikt in studies die kijken naar de betrouwbaarheid van deze modellen en voor klinische toepassingen. In totaal werden 6 studies gevonden die zich richtten op voet en enkel kinematica bij patiënten na voet en enkel trauma. Vier studies analyseerden de kinematica na een enkel distorsie en twee studies analyseerden voet en enkel kinematica bij patiënten na fracturen van de voet en enkel. Eén studie richtte zich op calcaneus fracturen en 1 studie keek naar patiënten naar enkel fracturen. Alle studies vonden veranderde voet en enkel kinematica in deze patiëntengroepen vergeleken met gezonden personen. MSVM zijn een veel belovend nieuw diagnosticum. Volgens de diagnostische onderzoekscriteria van Kottner et al., kan alleen de 1^e vraag beantwoord worden en daarom is niveau van bewijs voor dit diagnosticum nog laag (fase 1). Meer onderzoek is nodig naar de kosten en de effectiviteit van de MSVM en om te kijken naar de verbetering van de klinische uitkomst bij patiënten met voet en enkel trauma.

Dit proefschrift was verder verdeeld in twee delen. **Deel 1** bestaat uit 3 hoofdstukken, die kijken naar de betrouwbaarheid van het OFM bij gezonde personen en de invloed van verschillende factoren zoals snelheid en leeftijd op de voet en enkel kinematica. **Deel 2** bestaat uit 4 hoofdstukken die kijken naar de voet en enkel kinematica bij patiënten na voet en enkel fracturen vergeleken met gezonde personen. Tevens is gekeken naar de mate van correlatie tussen de kinematica en de patient gerapporteerde uitkomst maten in vragenlijsten en radiologische bevindingen.

DEEL 1: BETROUWBAARHEID VAN HET OXFORD FOOT MODEL ALS LOOPGANG-ANALYSE METHODE

In **hoofdstuk 3** wordt een reproduceerbaarheid studie gepresenteerd bij 9 gezonde personen, gemeten met het OFM. Deze personen werden getest door twee onderzoekers (inter-observer) en op verschillende dagen (intra-observer). Resultaten werden weergegeven middels de intraclass correlation coefficients (ICC) en standard error of measurement. Voor de inter-observer reproduceerbaarheid werden voor bijna alle parameters goede tot excellente ICCs gevonden en slechts 2 parameters met een gemiddelde ICC en 1 met een redelijke ICC. De error varieerde van 0,85° tot 4,40°. Voor de

intra-observer reproduceerbaarheid werden ook voor bijna alle parameters goede en excellente ICC's gevonden en er waren slechts 2 parameters met een gemiddelde ICC. De error varieerde van 1,15° tot 5,49°. De resultaten zijn vergelijkbaar met andere reproduceerbaarheids studies, die gebruik maakten van het OFM.

In **hoofdstuk 4** is gekeken naar de invloed van snelheid en leeftijd op voet en enkel kinematica, gebruik makende van het OFM. 21 gezonde mensen, met de leeftijd tussen 20 en 65 jaar werden geanalyseerd. Er was een significante invloed van snelheid op voet en enkel kinematica. Bij een hogere snelheid was er meer beweging tussen segmenten, waarbij de meeste invloed te zien was op het niveau van de enkel. Voor de invloed van leeftijd werden de 21 gezonde personen verdeeld in twee groepen met 13 (17 voeten) personen in de jongvolwassen groep (20-24 jaar) en 8 (14 voeten) personen in de ouderen groep (53-65 jaar). Er werden geen significante verschillen gevonden in voet en enkel kinematica tussen beide groepen. Tevens was er geen interactie tussen leeftijd en snelheid op de kinematica. In zowel de jongvolwassen groep als de ouderen groep namen de bewegingsuitslagen tussen de segmenten toe als de snelheid van het lopen toenam. Dit was niet anders in de ouderen groep vergeleken met de jongvolwassen groep.

In **hoofdstuk 5** werd gekeken naar voet en enkel kinematica in zowel het aangedane been als het niet-aangedane (contralaterale) been, bij patiënten na voet en enkel trauma. Bij 8 patiënten na Lisfranc letsel werden beide voeten geanalyseerd en vergeleken met twaalf gezonde personen. Er werd significant meer flexie/extensie gevonden tussen de achtervoet en voorvoet segmenten tijdens de afzetsfase in het gezonde been vergeleken met het aangedane been (20,03° om 11,91° $p=0,004$). Tevens was de flexie/extensie in het gezonde been ook significant meer dan bij gezonde personen (20,03° om 15,76° $p=0,035$). Dit indiceert dat in het gezonde been compensatie plaatsvindt. Deze compensatie beweging was significant gecorreleerd met de patienten tevredenheid, gerapporteerd in vragenlijsten.

DEEL 2: KLINISCH TOEPASSING

In de klinische studies is gekeken naar patiënten met verschillende voet en enkel fracturen (pilon fracturen om te kijken naar de enkel, calcaneus fracturen om te kijken naar de achtervoet en Lisfranc letsel om te kijken naar de voorvoet). Bij elke patiënt werd tijdens het lopen 1 stap geanalyseerd, vanaf het neerkomen van de hiel tot het loskomen van de tenen. Elke stap werd verdeeld in twee delen; een landingsfase en een afzetsfase. Bewegingen werden bekeken in 3 vlakken, sagittaal, frontaal en transversaal leidend tot de bewegingen flexie/extensie, abductie/adductie en inversie/eversie respectievelijk.

In **hoofdstuk 6** is gekeken naar voet en enkel kinematica bij 9 patiënten na pilon fracturen en deze is vergeleken met 11 gezonde mensen. Patiënten na pilon fracturen had-

den een significante lagere loopsnelheid ($p < 0,001$) vergeleken met gezonde mensen. Na correctie van de snelheid was er significant minder flexie/extensie tussen de achtervoet en tibia (talocrurale gewricht) tijdens de afzetfase in de pilon groep vergeleken met gezonde mensen ($p = 0,011$). Ook was er minder inversie/eversie tijdens de afzetfase ($p = 0,020$), maar de abductie/adductie was juist hoger in deze groep ($p = 0,006$). Significante correlaties werden gevonden met de mate van flexie/extensie tijdens de afzetfase en vragenlijsten zoals de FADI ($r = 0,470$, $p = 0,009$) en de AOFAS ankle-hindfoot score ($r = 0,374$, $p = 0,042$). Tevens werd er een significante correlatie gevonden tussen de mate van abductie/adductie tijdens landingsfase en afzetfase en gap in het talocrurale gewricht gemeten op post operatieve CT-scans ($r = 0,721$, $p = 0,044$ en $r = 0,750$ $p = 0,032$ respectievelijk).

In **hoofdstuk 7** werd de voet en enkel kinematica bij 13 patiënten na een verplaatste intra-articulaire calcaneus fractuur geanalyseerd en vergeleken met 17 gezonden personen en 8 patiënten met een subtalaire artrodese. Patiënten, na behandeling van een calcaneus fractuur, hadden een lagere loopsnelheid ($p = 0,004$). Na correctie voor snelheid werd bij patiënten met calcaneus fracturen significant minder flexie/extensie en minder inversie/eversie gevonden tijdens de landingsfase en de afzetfase vergeleken met gezonde personen. Er werd echter meer abductie/adductie beweging gevonden tussen de achtervoet en tibia vergeleken met gezonde personen ($p = 0,042$). Bij patiënten met een subtalaire arthrodese werd nauwelijks beweging (inversie/eversie) gemeten in het subtalaire gewricht. De mate van inversie/eversie was significant gecorreleerd met vragenlijsten zoals de FADI ($r = 0,51$, $p < 0,001$), de SF-36 fysieke score ($r = 0,52$, $p < 0,001$) en radiologische step-off in het posterieure facet van het subtalaire gewricht, gemeten op post-operatieve CT scans ($r = -0,74$, $p = 0,004$).

In **hoofdstuk 8** werd de voet en enkel kinematica van 19 patiënten met Lisfranc letsels vergeleken met 21 gezonde personen. 5 patiënten werden conservatief behandeld, 8 ondergingen operatief herstel van de fractuur met plaat en schroeven en 6 kregen een artrodese. Er werd een lagere loopsnelheid gevonden in de Lisfranc groep ($p < 0,001$) vergeleken met gezonde mensen. Na correctie voor snelheid werd minder flexie/extensie gevonden tussen de voorvoet en achtervoet tijdens de afzetfase in de Lisfranc groep vergeleken met gezonde mensen ($p < 0,001$). Dit werd ook gezien tussen de achtervoet en tibia tijdens de afzetfase ($p = 0,040$). Wel was er meer abductie/adductie tijdens de afzetfase vergeleken met gezonde personen ($p = 0,001$). Er was een significante correlatie met de mate van flexie/extensie tijdens de afzetfase en vragenlijsten zoals de AOFAS midfoot score ($r = 0,56$, $p = 0,01$) en de SF-36 fysieke beperking score ($r = 0,60$, $p = 0,007$). Er waren geen significante correlaties tussen de kinematica en radiologische bevindingen post-operatief.

In **hoofdstuk 9** is gekeken naar de verticale grond reactiekrachten bij 13 patiënten na calcaneus fracturen en deze zijn vergeleken met 11 gezonde personen. Patiënten na een calcaneus fractuur lieten een lagere minimum kracht tijdens middenstand fase zien ($p = 0,004$) en een lagere maximum kracht tijdens de afzetfase ($p = 0,011$). Deze maxi-

mum kracht tijdens de afzetfase was significant gecorreleerd met voet en enkel kinematica zoals de flexie/extensie tijdens de afzetfase ($r\ 0,523\ p=0,002$), vragenlijsten zoals FADI ($r\ 0,443, p=0,010$) en de AOFAS ankle-hindfoot score ($r\ 0,436, p=0,011$) en radiologische step-off in het posterieure facet van het subtalaire gewricht gemeten op post operatieve CT-scans ($r\ 0,423, p=0,016$). Met een afwijkend patroon in verticale grond reactiekrachten waren we in staat om alle patiënten, na calcaneus chirurgie met afwijkingen kinematica, te detecteren in deze studie, gebied onder de curve (AUC) 0,93 (95% betrouwbaarheidsinterval 0,84-1,00) met 100% sensitiviteit. Daarbij werden 43% van de gezonde mensen gedetecteerd als fout positief.